

= DE 38 81 534 T2

12

EUROPEAN PATENT APPLICATION

published in accordance with Art. 158(3) EPC

21 Application number: 88900788.6

51 Int. Cl.³: F 16 L 43/00

22 Date of filing: 06.01.88

Data of the international application taken as a basis:

86 International application number:
PCT/JP88/00008

87 International publication number:
WO88/05143 (14.07.88 88/15)

30 Priority: 07.01.87 JP 1421/87
26.05.87 JP 129435/87

43 Date of publication of application:
28.12.88 Bulletin 88/52

84 Designated Contracting States:
BE DE FR GB IT NL

71 Applicant: NIPPON STEEL CORPORATION
6-3 Otemachi 2-chome Chiyoda-ku
Tokyo 100-71(JP)

71 Applicant: DAI-ICHI HIGH FREQUENCY CO., LTD
13-10, Tsukiji 1-chome Chuo-ku
Tokyo 104(JP)

71 Applicant: JGC Corporation
2-1, Ohte-machi 2-chome
Chiyoda-Ku Tokyo 100(JP)

72 Inventor: NAOI, H. Nippon Steel Corp., R&D
Laboratories-II
5-10-1, Fuchinobe Sagami-hara-shi
Kanagawa 229(JP)

72 Inventor: INOUE, Y. Nippon Steel Corp., R&D
Laboratories-II
5-10-1, Fuchinobe Sagami-hara-shi
Kanagawa 229(JP)

72 Inventor: NAGASAKA, Tetsuo Nippon Steel Corporation
6-3, Ote-machi 2-chome Chiyoda-ku
Tokyo 100-71(JP)

72 Inventor: MATSUBARA, Y. Dai-ichi High Frequency Co.,
Ltd.
8-3, Tono-machi 2-chome Kawasaki-ku
Kawasaki-shi Kanagawa 210(JP)

72 Inventor: TAKAGISHI, M. Dai-ichi High Frequency Co.,
Ltd.
8-3, Tono-machi 2-chome Kawasaki-ku
Kawasaki-shi Kanagawa 210(JP)

72 Inventor: AKIZAWA, Seichi
1-14-1, Bessho Minami-ku Yokohama-shi
Kanagawa 232(JP)

74 Representative: Vossius & Partner
Siebertstrasse 4 P.O. Box 86 07 67
D-8000 München 88(DE)

54 BENT PIPE HAVING HIGH-STRENGTH CROSS-SECTION.

57 A cross-sectionally circular elbow having a uniform wall thickness is used at a bent portion of a conventional pipeline in a plant, and it has been demanded that the strength of a bent portion of a pipeline against the internal pressure and bending moment be improved. This invention relates to an elbowless bent pipe of a high strength, which has been developed so as to meet this requirement. An elbowless bent pipe having excellent strength characteristics with respect to the internal pressure and bending moment has successfully

been made by (1) setting the wall thickness of the outer circumferential section of a bent portion thereof to a level lower than that of the wall thickness of a conventional elbow, (2) setting the wall thickness of the inner circumferential section of the bent portion of the elbowless bent pipe to a level higher than that of the wall thickness of a conventional elbow, and (3) minimizing the degree of flatness of a cross section of the bent portion of the same pipeline.

./...



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Übersetzung der
europäischen Patentschrift

③1 Int. Cl.⁵:
F 16 L 43/00

②7 EP 0 296 251 B1

⑩ DE 38 81 584 T 2

DE 38 81 584 T 2

②1 Deutsches Aktenzeichen:	38 81 584.2
②6 PCT-Aktenzeichen:	PCT/JP88/00008
②8 Europäisches Aktenzeichen:	88 900 788.6
②7 PCT-Veröffentlichungs-Nr.:	WO 88/05143
②6 PCT-Anmeldetag:	6. 1. 88
②7 Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung:	14. 7. 88
②7 Erstveröffentlichung durch das EPA:	28. 12. 88
②7 Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA:	9. 6. 93
②7 Veröffentlichungstag im Patentblatt:	5. 1. 94

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
07.01.87 JP 1421/87 26.05.87 JP 129435/87

⑦3 Patentinhaber:
Nippon Steel Corp., Tokio/Tokyo, JP; Dai-ichi High
Frequency Co., Ltd., Tokyo, JP; JGC Corp.,
Tokio/Tokyo, JP

⑦4 Vertreter:
Tauchner, P., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Heunemann,
D., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Rauh, P., Dipl.-Chem.
Dr.rer.nat.; Hermann, G., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.;
Schmidt, J., Dipl.-Ing.; Jaenichen, H., Dipl.-Biol.
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte; Tremmel, H., Rechtsanw.,
81675 München

⑧4 Benannte Vertragsstaaten:
BE, DE, FR, GB, IT, NL

⑦2 Erfinder:
NAOI, H. Nippon Steel Corp., R&D Laboratories-II,
Kanagawa 229, JP; INOUE, Y. Nippon Steel Corp.,
R&D Laboratories-II, Kanagawa 229, JP;
NAGASAKA, Tetsuo Nippon Steel Corporation;
Tokyo 100-71, JP; MATSUBARA, Y. Dai-ichi High
Frequency Co., Ltd, Kawasaki-shi Kanagawa 210, JP;
TAKAGISHI, M. Dai-ichi High Frequency Co., Ltd,
Kawasaki-shi Kanagawa 210, JP; AKIZAWA, Seiichi,
Kanagawa 232, JP

⑤4 GEBOGENES ROHR MIT HOHER QUERSCHNITTSFESTIGKEIT.

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 38 81 584 T 2

1 EP-B-0 296 251
(88 90 0788.6)
NIPPON STEEL CORPORATION, et. al.
u. Z.: X 487 EP

1. Sep. 1993

5 Gebogenes Rohr mit hoher Querschnittsfestigkeit

Die Erfindung betrifft ein gebogenes oder gekrümmtes
Stahlrohrerzeugnis mit einer solchen Abmessung und Form, daß
die Festigkeitseigenschaften seines gebogenen Abschnitts de-
10 nen seines geraden Abschnitts in einer Rohrleitung überlegen
sind, auf die ein Innendruck und eine Außenkraft, z. B. ein
Biegemoment, einzeln oder in Kombination als Ergebnis des
Betriebs einer Apparatur ausgeübt werden, z. B. in einer
Rohrleitung einer Chemieanlage, einer Kesselrohrleitung oder
15 in einer Rohranordnung für Kernenergieanlagen.

Die herkömmlichen gebogenen Rohre sind in den Japani-
schen Industrienormen Nr. B2311, B2312 usw. vorgeschrieben.
Gemäß Fig. 2 erfolgte die Rohrherstellung durch Anfügen von
geraden Rohren 3 über Anschweißbereiche 4 an Schweißfittings
2 (allgemein als Krümmer bekannt) und entsprechend dem Ham-
20 burger Biegeverfahren, das in "Tekko binran (Stahlhandbuch)
IV", 3. Ausgabe, Seite 179, herausgegeben vom Japanischen Ei-
sen- und Stahlinstitut, beschrieben ist. Dabei ist jedoch die
Konfiguration des gebogenen Rohrerzeugnisses auf einen gebo-
25 genen Abschnitt mit einem Biegewinkel bis zu 180° beschränkt.
Deshalb brachte das gebogene Rohrerzeugnis Probleme mit sich,
z. B. längere Schweißarbeitszeiten bei der Rohrmontage, damit
zusammenhängende längere Prüfarbeitszeiten für Schweißab-
schnitte und höhere Baukosten. Folglich bestand ein Bedarf an
30 einem gebogenen Rohr mit einem gebogenen Abschnitt und an
dessen beiden Enden in einem Stück vorgesehenen geraden Ab-
schnitten, um die Schweißabschnitte zu verringern. Als Vor-
schlag zur Herstellung eines solchen wünschenswerten geboge-
nen Rohrs offenbaren die JP-A-24878/1974⁴⁵ und JP-A-135870/1978
35 ein Bearbeitungsverfahren für ein induktionsgebogenes Rohr 1
gemäß Fig. 1. Dieses Verfahren hat den Nachteil, daß der ge-
bogene Abschnitt immer einen geringeren verformungsauslösen-
den Innendruck als der gerade Abschnitt aufweist, wenn das

JP 00 49 02 4878 A1

Publ. 3. 1974

1 Verhältnis zwischen Krümmungsradius R und Außendurchmesser D_0
 des geraden Abschnitts (R/D_0) im Bereich von 1 bis 5 und das
 Verhältnis zwischen Wanddicke T_0 des geraden Abschnitts und
 Außendurchmesser D_0 des geraden Abschnitts (T_0/D_0) im Bereich
 5 von 0,02 bis 0,20 liegt. Ferner ist die Herstellung von gebogenen
 Rohren durch Biegen von geraden Rohren allgemein bekannt.

Von den Erfindern wurde unter dem Gesichtspunkt der Abmessung und Konfiguration untersucht, ob die Festigkeitseigenschaften einer Rohrleitung mit diesem Krümmer befriedigend
 10 sind, wenn ein Innendruck und eine Außenkraft, z. B. ein Biegemoment, einzeln oder in Kombination ausgeübt werden; dabei wurden Probleme aufgegriffen.

Zunächst wurde bei einer Rohrleitung mit einem Krümmer und daran über Schweißabschnitte angefügten geraden Rohren die auftretende Beanspruchung an der Rohraußenfläche an jedem Krümmerbereich untersucht, nachdem der Innendruck P 100 at (98,69 bar) als Ergebnis eines auf die Rohrleitungsinnenfläche ausgeübten Drucks durch einen Wasserdruck von einem Wassereinlaß 7 erreichte, der gemäß Fig. 3(a) zur Innendruckbeaufschlagung an einem Ende des geraden Rohrs angebracht war.
 15 Ferner wurde der Innendruck P bis zum Bruch der Rohrleitung erhöht, wobei ihre charakteristischen Merkmale untersucht wurden. Fig. 4 zeigt die auftretende Beanspruchung, nachdem
 20 der Innendruck P 100 at (98,69 bar) erreichte. Aus der Darstellung wird deutlich, daß die auftretende Beanspruchung ihren Höchstwert am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$) des Krümmers erreicht, der einen gefährdeten Querschnitt darstellt.

Fig. 3(a) zeigt die Bruchbedingungen an einem Bruchpunkt
 30 5 der Rohrleitung. Der Bruch trat in der Umgebung des Innenumfangsbereichs I ($\phi = -90^\circ$) des Krümmers auf (siehe Fig. 2b). Daraus wird deutlich, daß dieser Bereich eine geringe Festigkeit im Vergleich zum Außenumfangsbereich O ($\phi = +90^\circ$) und Neutralbereich N ($\phi = 0^\circ$ und $\phi = 180^\circ$) des Krümmers und
 35 am geraden Rohr hat.

Anschließend wurde an einer Rohrleitung mit einem Krümmer und daran über Schweißabschnitte angefügten geraden Roh-

1 ren ein Biegemoment am Krümmer aufgebracht, indem gemäß
 Fig. 5(a) ein Ende des geraden Rohres fixiert und eine Außen-
 kraft 8 mit einem Hydraulikstempel auf das andere Ende ausge-
 übt wurde. Dabei wurde die auftretende Beanspruchung an der
 5 Rohraußenfläche an jedem Krümmerbereich untersucht.

Fig. 5(b) zeigt die auftretende Beanspruchung innerhalb
 des Krümmerquerschnitts. Der Innenumfangsbereich I ($\phi =$
 -90°), der Neutralbereich N ($\phi = 0^\circ$ und 180°) und der Außen-
 umfangsbereich O ($\phi = +90^\circ$) zeigen jeweils mehr oder minder
 10 Spitzenbeanspruchungen, was darauf verweist, daß diese vier
 Bereiche gefährdete Querschnitte sind. Bei der Untersuchung
 der Ursachen wurde festgestellt, daß die Querschnittsform des
 Krümmers durch das Aufbringen eines Biegemoments abge-
 flacht wurde, wodurch Spitzenbeanspruchungen an den vier vor-
 15 stehend genannten Bereichen verursacht wurden.

Aus der bisherigen Darstellung wird deutlich, daß beim
 Ausüben eines Innendrucks und einer Außenkraft, z. B. eines
 Biegemoments, einzeln oder in Kombination auf herkömmliche
 gebogene Rohre der Krümmer geringere Festigkeitseigenschaften
 20 als das gerade Rohr hat und daß dabei innerhalb des Krümmer-
 querschnitts die Beanspruchungen am Innenumfangsbereich I (ϕ
 $= -90^\circ$), Neutralbereich N ($\phi = 0^\circ$ und 180°) und Außenumfangs-
 bereich O ($\phi = +90^\circ$) groß sind, wobei insbesondere der Innen-
 umfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$) als gefährdeter Bereich ausgewie-
 25 sen ist. Daraus wurde deutlich, daß Verbesserungen erforder-
 lich sind.

Der Erfindungsgedanke kam angesichts der vorstehend be-
 schriebenen gegenwärtigen Situation zustande. Eine Aufgabe
 der Erfindung besteht darin, ein krümmerloses Stahlrohr mit
 30 hoher mechanischer Festigkeit zu schaffen, bei dem eine ge-
 ringere Beanspruchung auch dann auftritt, wenn ein Innendruck
 und eine Außenkraft, z. B. ein Biegemoment, einzeln oder
 in Kombination ausgeübt werden. Diese Aufgabe wird mit den
 Merkmalen des Patentanspruchs gelöst.

35 Die Erfindung beruht auf der allgemeinen Erkenntnis, daß
 die Parameter eines gebogenen Rohrs, d. h., Außendurchmesser
 D des gebogenen Abschnitts, Krümmungsradius R des gebogenen

1 Abschnitts, Außendurchmesser D_0 des geraden Abschnitts, Wand-
 dicke T_0 des geraden Abschnitts, Mittelquerschnittswinkel ϕ
 des gebogenen Abschnitts und Wanddicke t des gebogenen Ab-
 schnitts die folgenden Gleichungen (1) und (2) erfüllen soll-
 5 ten:

$$\frac{D_0 - T_0}{2T_0} \geq \frac{(D - t) \{4R + (D - t) \sin \phi\}}{4 \times t \{2R + (D - t) \sin \phi\}} \quad \dots (1)$$

$$3T_0 \geq t \quad \dots (2)$$

10 Insbesondere erfüllt die Erfindung die folgenden Gleich-
 ungen (3), (6) und (7) mit den besonderen Bereichen (4) mit
 (5), (8) mit (9) und (10) mit (11):

$$0 \leq \{(T_0 - T_1) / T_0\} * (R / D_0) \leq 0,20 \quad \dots (3)$$

$$0 \leq U \leq 0,03 \quad \dots (4)$$

15 für $0,04 \leq T_0 / D_0 \leq 0,10 \quad \dots (5)$

$$1 \leq R / D \leq 5 \quad \dots (6)$$

$$U = 2 * (D_1 - D_2) / (D_1 + D_2) \quad \dots (7)$$

$$0 \leq U \leq 0,05 \quad \dots (8)$$

20 für $0,02 \leq T_0 / D_0 < 0,04 \quad \dots (9)$

$$0 \leq U \leq 0,015 \quad \dots (10)$$

25 für $0,10 < T_0 / D_0 \leq 0,20 \quad \dots (11)$

mit den folgenden Parametern: maximaler Außendurchmesser D_1
 des gebogenen Abschnitts, minimaler Außendurchmesser D_2 des
 gebogenen Abschnitts, Wanddicke T_1 am Außenumfang des geboge-
 25 nen Abschnitts (90°) und Abflachungsgrad U des Außendurchmes-
 sers am gebogenen Abschnitt.

Fig. 1(a) und (b) ist eine schematische Darstellung einer
 Rohrleitung mit einem krümmerlosen Rohr gemäß einer Aus-
 führungsform der Erfindung bzw. eine Querschnittsansicht des
 30 gebogenen Abschnitts entlang der Linie Y-Y von Fig. 1(a);

Fig. 2(a) und (b) ist eine schematische Darstellung einer
 Rohrleitung mit einem herkömmlichen Schweißfitting
 (allgemein als Krümmer bekannt) bzw. eine Querschnittsansicht
 des Krümmerabschnitts entlang der Linie X-X von Fig. 2(a);

35 Fig. 3(a) ist eine Perspektivansicht der Bruchbedingun-
 gen einer Rohrleitung mit einem Krümmer, nachdem ein Innen-
 druck ausgeübt wurde;

1 Fig. 3(b) ist eine Perspektivansicht der Bruchbedingungen eines krümmellosen Rohrs, nachdem ein Innendruck ausgeübt wurde;

5 Fig. 4 ist ein Diagramm der Beanspruchungen in der Umfangsrichtung eines Rohrs, die am gebogenen Abschnitt eines krümmellosen Rohrs und am Krümmer auftreten, nachdem ein Innendruck von 100 at ausgeübt wurde;

10 Fig. 5(a) ist eine schematische Darstellung, die veranschaulicht, wie ein Biegemoment auf eine Rohrleitung ausgeübt wird;

15 Fig. 5(b) ist ein Diagramm der Beanspruchungen in der Umfangsrichtung eines Rohrs, die am gebogenen Abschnitt auftreten, nachdem ein Biegemoment von 1 Tonne · m auf ein krümmelloses Rohr und auf eine Rohrleitung mit einem Krümmer ausgeübt wurde;

20 Fig. 6(a) und (b) sind Diagramme von Beispielen für eine Berechnung der Querschnittskontur des gebogenen Abschnitts eines krümmellosen Rohrs, wobei Fig. 6(a) ein Diagramm zum Anzeigen der Wanddicke $(t/T_0 - 1)$ am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$ und Fig. 6(b) ein Diagramm zum Anzeigen der Wanddicke $(t/T_0 - 1)$ am Außenumfangsbereich O ($\phi = +90^\circ$) ist;

25 Fig. 7(a) bis (c) sind Diagramme zum Anzeigen der Verformungsbedingungen, die durch einen Innendruck in einem induktionsgebogenen Rohr mit unterschiedlichen Abflachungsgraden U und unterschiedlichen Wanddicken T_1 des Außenumfangsbereichs ($+90^\circ$) am gebogenen Abschnitt des Rohrs gemäß einer Ausführungsform der Erfindung erzeugt werden, wobei Fig. 7(a) ein Diagramm für den Fall $0,04 \leq T_0/D_0 \leq 0,10$, Fig. 7(b) ein Diagramm für den Fall $0,02 \leq T_0/D_0 < 0,04$ und Fig. 7(c) ein Diagramm für den Fall $0,10 < T_0/D_0 \leq 0,20$ ist;

30 Fig. 8 ist ein Querschnitt zum Darstellen der Abflachungsbedingungen des gebogenen Abschnitts eines induktionsgebogenen Rohrs entlang der Linie Y-Y von Fig. 1(a);

35 Fig. 9(a) ist ein Diagramm zum Anzeigen der Meßwerte der Beanspruchungen zusammen mit den Analysewerten gemäß der finiten Elementemethode, die am gebogenen Abschnitt eines induktionsgebogenen Rohrs mit einem Abflachungsgrad U des gebo-

1 genen Abschnitts von 2 % auftreten, nachdem ein Innendruck von 100 at ausgeübt wurde;

Fig. 9(b) ist ein Diagramm zum Anzeigen der Meßwerte der Beanspruchungen, die am gebogenen Abschnitt auftreten, wenn
 5 der gebogene Abschnitt unterschiedliche Abflachungsgrade hat; und

Fig. 10 ist eine Konzeptdarstellung der Zusatzbeanspruchung zur Abflachungskorrektur, nachdem ein Innendruck auf ein induktionsgebogenes Rohr mit einem abgeflachten gebogenen
 10 Abschnitt ausgeübt wurde.

Die Erfinder richteten ihr Augenmerk auf ein krümmerloses Rohr mit einem gebogenen Abschnitt mit ungleichmäßiger Wanddicke gemäß Fig. 1, wobei das Rohr Festigkeitseigenschaften hat, die denen eines gebogenen Rohrs mit einem Krümmer
 15 überlegen sind, und stellten Untersuchungen dazu an.

Mit dem Ziel der Beseitigung oder Verringerung solcher Nachteile des herkömmlichen Rohrleitungssystems mit einem Krümmer, wie z. B.

(a) Auftreten einer Höchstbeanspruchung am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$), nachdem ein Innendruck ausgeübt wurde,
 20 und

(b) Auftreten einer Spitzenbeanspruchung infolge der Abflachung des gebogenen Abschnitts, nachdem ein Biegemoment ausgeübt wurde,

25 wurde experimentell ein krümmerloses Rohr hergestellt, dessen Grundgestaltung erreichen soll, daß die Wanddicke am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$) größer als die eines Krümmers ist.

Geprüft wurde, ob dieses krümmerlose Rohr Festigkeitseigenschaften hat, die denen des gebogenen Rohrs mit einem Krümmer überlegen sind.
 30

Es wurde die auf der Rohraußenfläche auftretende Beanspruchung am gebogenen Abschnitt des krümmerlosen Rohres untersucht, nachdem der Innendruck P 100 at (98,69 bar) als
 35 Ergebnis eines auf die Rohrleitungsinnenfläche eines krümmerlosen Rohrs auf die gleiche Weise wie bei einem Rohr mit einem Krümmer ausgeübten Drucks erreichte. Ferner wurde der In-

#A8

1 nendruck P bis zum Bruch der Rohrleitung erhöht, und es wurden deren charakteristische Merkmale untersucht.

Fig. 4 zeigt die auftretende Beanspruchung, nachdem der Innendruck P 100 at (98,69 bar) erreichte. Die am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$) des gebogenen Abschnitts auftretende Beanspruchung, die beim herkömmlichen Krümmer problematisch war, ist merklich zurückgegangen, und es wurde eine gleichmäßigere Beanspruchungsverteilung erreicht.

Fig. 3(b) zeigt die Bruchbedingungen der Rohrleitung. Am gebogenen Abschnitt des krümmerlosen Rohrs trat kein Bruch auf. Der Bruch trat lediglich am geraden Abschnitt auf, was durch einen Bruchbereich 6 in der Zeichnung dargestellt ist.

Aus der vorstehenden Darstellung wurde deutlich, daß beim krümmerlosen Rohr die gebogenen Abschnitte bessere Innendruckfestigkeitseigenschaften als die geraden Abschnitte haben und daher das krümmerlose Rohr dem Krümmer weitaus überlegen ist.

Andererseits existierte keine Schätzgleichung für die Beanspruchung, die in gebogenen Rohren mit ungleichmäßiger Wanddicke, z. B. in diesem krümmerlosen Rohr, auftritt. Von den Erfindern wurde die nachfolgende Gleichung (12) erarbeitet, die auf ein krümmerloses Rohr angewendet wurde und bei der eine gute Übereinstimmung mit den Meßwerten von Fig. 4 festgestellt wurde. Für die Werte aus Gleichung (12) ergab sich auch eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der theoretischen Beanspruchungsanalyse nach der finiten Elementemethode. Ferner wurde festgestellt, daß die am geraden Abschnitt auftretende Beanspruchung durch Gleichung (13) ausgedrückt werden kann.

Beanspruchung in Umfangsrichtung am gebogenen Abschnitt:

$$\sigma = \frac{P(D - t) \{4R + (D - t) \sin \phi\}}{4t \{2R + (D - t) \sin \phi\}} \quad \dots (12)$$

Beanspruchung in Umfangsrichtung am geraden Abschnitt:

$$\sigma = \frac{P(D_0 - T_0)}{2T_0} \quad \dots (13)$$

Anschließend wurde die an jedem Bereich des gebogenen Abschnitts auftretende Beanspruchung untersucht, nachdem ein

- 1 Bieugungsmoment auf ein krümmertes Rohr wie beim Krümmert
ausgeübt wurde.

Die Ergebnisse sind in Fig. 5(b) im Vergleich zu denen
des Krümmers dargestellt. Es wurde festgestellt, daß sich die
5 Spitzenbeanspruchung infolge der Abflachung der Querschnitts-
form, die am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$), Neutralbereich
N ($\phi = 0^\circ$ und 180°) bzw. Außenumfangsbereich O ($\phi = +90^\circ$) des
herkömmlichen Krümmers auftritt, bedeutend verringert.

Gemäß der anfangs geäußerten Erwartung wird der Grund
10 dafür darin vermutet, daß das Vorhandensein einer großen
Wanddicke am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$) des krümmertlo-
sen Rohrs gemäß Fig. 1(b) eine Querschnittsabflachung des ge-
bogenen Abschnitts des krümmertlosen Rohrs verhindert und da-
durch die Beanspruchung beträchtlich verringert.

15 Aus der bisherigen Darstellung wurde deutlich, daß eine
Erhöhung der Wanddicke am Innenumfangsbereich I ($\phi = -90^\circ$)
des gebogenen Rohrabschnitts zu einer beträchtlichen Verbes-
serung der Festigkeitseigenschaften des Rohrleitungssystems
führt. Weitere Untersuchungen betrafen eine Mindestwanddicke,
20 die an jedem Rohrbereich erforderlich ist.

Gleichung (14) wurde für die Bedingung aufgestellt, daß
"der gebogene Abschnitt eine Abmessung und Form hat, die es
ihm ermöglichen, bessere Innendruckfestigkeitseigenschaften
als der gerade Abschnitt aufzuweisen", um ein krümmertloses
25 Rohr mit ausgezeichneter Festigkeit vorzusehen.

$$\begin{array}{lcl} \text{auftretende} & & \text{auftretende} \\ \text{Beanspruchung am} & \geq & \text{Beanspruchung am} \\ \text{geraden Abschnitt} & & \text{gebogenen Abschnitt} \dots (14) \end{array}$$

Wird Gleichung (13) für die linke Seite von Gleichung
30 (14) und Gleichung (12) für deren rechte Seite eingesetzt,
ergibt sich Gleichung (1), wodurch eine erforderliche Min-
destwanddicke bestimmt werden kann.

$$\frac{D_0 - T_0}{2T_0} \geq \frac{(D - t) \{4R + (D - t) \sin \phi\}}{4 \times t \{2R + (D - t) \sin \phi\}} \dots (1)$$

35 In Gleichung (1) wird nur die Innendruckfestigkeit be-
rücksichtigt. Da die Wanddicke am Innenumfangsbereich I ($\phi =$
 -90°) aus dem vorstehend erwähnten Grund groß ist, verringert

- 1 sich auch die Beanspruchung beim Ausüben des Biegemoments
im Vergleich zu der beim Krümmer. Daher ist eine hohe Sicher-
heit gewährleistet.

Es wurde der obere Grenzwert für die Wanddicke unter-
5 sucht. Unter dem Aspekt der Beanspruchungsverringerung und
damit der Sicherheit ist eine große Wanddicke bevorzugt. Da
der Außendurchmesser jedoch im allgemeinen einen vorbestimm-
ten Wert hat, führt die Erhöhung der Wanddicke zu einer Ver-
ringerung des Rohrrinnendurchmessers. Bei der Flüssigkeitsbe-
10 wegung im Rohr erhöht sich folglich die Rohrfließgeschwindig-
keit, was den Fließwiderstand im Rohr nachteilig erhöht. Fer-
ner gehen damit wirtschaftliche Nachteile einher. Daher wurde
Gleichung (2) für den oberen Grenzwert der Wanddicke aufge-
stellt:

$$15 \quad 3T_0 \geq t \quad \dots (2)$$

Einige Berechnungsergebnisse für den gebogenen Abschnitt
eines durch Gleichung (1) und (2) definierten krümmerlosen
Rohrs in Bezug auf den Bereich der Wanddicke am Innenumfangs-
20 bereich I ($\phi = -90^\circ$) bzw. Außenumfangsbereich O ($\phi = +90^\circ$)
sind in Fig. 6 in Relation zum Krümmungsradiusverhältnis R/D
des gebogenen Abschnitts dargestellt. Je kleiner das Krüm-
mungsradiusverhältnis R/D der Rohrleitung ist, um so größer
ist die erforderliche Wanddicke am Innenumfangsbereich I ($\phi =$
25 -90°). Am Außenumfangsbereich O ($\phi = +90^\circ$) wurde festge-
stellt, daß die Wanddicke bis zu einem gewissen Grad verrin-
gert werden kann. Dementsprechend wurden die Abmessungsberei-
che eines neuartigen krümmerlosen Rohrs geklärt. Da der in
der Gleichung erscheinende Außendurchmesser D am gebogenen
Abschnitt gleich D_0 in der allgemeinen Rohrleitung ist, wird
30 $D = D_0$ angenommen. Die Wanddicke T_0 am geraden Abschnitt
stellt eine Istabmessung dar. Der Höchstwert für das Krüm-
mungsradiusverhältnis R/D für Rohrleitungen in Chemieanlagen,
Kesselrohrleitungen und Rohranordnungen für Kernenergieanla-
gen liegt im allgemeinen bei 5, und sein Mindestwert beträgt
35 im allgemeinen 1.

An induktionsgebogenen Rohren mit unterschiedlichen Ab-
flachungsgraden am gebogenen Abschnitt gemäß Tabelle 1 wurde

- 1 die Beanspruchung untersucht, die auf der Rohraußenfläche an
jeder Rohrposition auftritt, nachdem der Innendruck 100 at-
(98,69 bar) als Ergebnis einer Druckbeaufschlagung an einem
Rohrende durch Wasserdruck vom Einlaß für die Innendruckbe-
5 aufschlagung erreichte.

10

15

20

25

30

35

Tabelle 1

Nr.	Stahlsorte	Gerader Abschnitt			Gebogener Abschnitt				Höchstbeanspruchung am gebogenen Abschnitt beim Innendruck von 100 at (kp/mm ²)
		Außendurchmesser D ₀ (mm)	Wanddicke T ₀ (mm)	T ₀ /D ₀ (%)	Innenumfangs-Wanddicke T ₂ (mm)	Außenumfangs-Wanddicke T ₁ (mm)	Krümmungsradiusverhältnis R/D ₀	Abflachungsgrad U (%)	
1	ASTM A106B	168,3	10,8	6,4	19,1	9,4	1,5	0,1	7,0
2	ASTM A106B	168,3	10,9	6,5	18,4	10,1	1,5	2,0	8,3
3	ASTM A106B	168,3	10,9	6,5	18,8	9,3	1,5	5,0	10,5

1 Fig. 9(a) zeigt einige Meßwerte der Beanspruchung, die
am Außenflächenbereich (O) eines gebogenen Abschnitts mit ei-
nem Abflachungsgrad von 2 % auftritt, wenn der Innendruck
100 at (98,69 bar) erreicht. Fig. 9(b) und Tabelle 1 zeigen
5 das Beanspruchungsergebnis an gebogenen Abschnitten mit un-
terschiedlichen Abflachungsgraden. Aus der Zeichnung und der
Tabelle geht hervor, daß sich eine Höchstbeanspruchung an
diesem Außenflächenbereich mit zunehmendem Abflachungsgrad
erhöht, und der Außenumfangsbereich O ($\phi = +90^\circ$) im Hinblick
10 auf eine Höchstbeanspruchung ein gefährdeter Bereich ist.
Ferner sind in Fig. 9(a) zusammen mit dem Meßwerten die Er-
gebnisse der zahlenmäßigen Analyse gemäß der finiten Ele-
mentemethode für die sich ergebende Erscheinung gezeigt,
nachdem ein Innendruck von 100 at (98,69 bar) auf das induk-
15 tionsgebogene Rohr ausgeübt wurde. Als Ergebnis der Analyse
entspricht die Beanspruchung am Außenflächenbereich (O) gemäß
Fig. 8 im wesentlichen den vorstehend genannten Meßwerten.
Zusätzlich ausgewiesen wurden ferner die Beanspruchungsbedin-
gungen am Mittelbereich (M) der Wanddicke und am Innenflä-
20 chenbereich (I). Anhand dieser Ergebnisse wurde der Tatsache
Beachtung geschenkt, daß die Beanspruchungserhöhung durch Ab-
flachung infolge einer zusätzlichen Beanspruchung zur Ab-
flachungskorrektur zustande kommt, die an jedem Rohrbereich
wirkt, wenn ein Innendruck auf den abgeflachten gebogenen Ab-
25 schnitt ausgeübt wird. Beachtung fand ferner die Tatsache,
daß gemäß Fig. 10 eine zusätzliche Zugbeanspruchung infolge
der Beanspruchung zur Abflachungskorrektur auf den Außenum-
fangsbereich ($+90^\circ$) des gebogenen Abschnitts wirkt, wobei
sich diese zusätzliche Zugbeanspruchung mit der relativen Zu-
30 nahme der Wanddicke erhöht. Daraus wird deutlich, daß bei der
Beaufschlagung eines induktionsgebogenen Rohrs mit einem In-
nendruck eine Erhöhung des Abflachungsgrads am gebogenen Ab-
schnitt zu einer Erhöhung der Höchstbeanspruchung führt, die
am Umfangsabschnitt des gebogenen Rohrs auftritt. Bei einer
35 kleinen Wanddicke T_1 am Außenumfangsabschnitt ($+90^\circ$) des ge-
bogenen Rohrs wird ferner die in diesem Bereich auftretende
Beanspruchung groß. Diese Erscheinung hängt mit dem Verhält-

1 nis zwischen der Wanddicke des geraden Abschnitts und dem Außendurchmesser (T_0/D_0) zusammen.

5 An induktionsgebogenen Rohren mit unterschiedlicher Wanddickendifferenz und unterschiedlichem Abflachungsgrad, die durch kontinuierliches Erwärmen eines Stahlrohrs mit einem Verhältnis zwischen der Wanddicke des geraden Abschnitts und dem Außendurchmesser (T_0/D_0) von 0,04 bis 0,10 durch hochfrequente Induktionserwärmung hergestellt werden, während an ihrem erwärmten Bereich ein Biegemoment ausgeübt und
10 unmittelbar danach eine Zwangskühlung mit Wasser oder Luft durchgeführt wird, wurden Verformungsprüfungen durch Innendruckbeaufschlagung durchgeführt, wodurch die Auswirkungen der Wanddickendifferenz und des Abflachungsgrads bestimmt wurden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.

15

20

25

30

35

Tabelle 2

Nr.	Stahlsorte	Abmessung und Konfiguration							Position, an der die Verformung am frühesten einsetzt (Markierung X)	
		Gerader Abschnitt			Gebogener Abschnitt					
		Außen- durchmesser D ₀ (mm)	Wanddicke T ₀ (mm)	T ₀ /D ₀ (%)	Innenumfangs- Wanddicke T ₂ (mm)	Außenumfangs- Wanddicke T ₁ (mm)	Krüm- mungs- radius- verhältnis R/D ₀	Abflachungs- grad U (%)	Gerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt
1	ASTM A106B	168,3	10,8	6,4	19,1	9,4	1,5	0,1	X	-
2	ASTM A106B	168,3	11,0	6,5	13,4	10,6	3,0	0,9	X	-
3	ASTM A106B	168,3	7,2	4,3	12,1	6,6	1,5	1,1	X	-
4	ASTM A106B	168,3	10,9	6,5	18,4	10,1	1,5	2,0	X	-

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Nr.	Stahlsorte	Abmessung und Konfiguration							Position, an der die Verformung am frühesten einsetzt (Markierung X)	
		Gerader Abschnitt			Gebogener Abschnitt					
		Außen- durchmesser D ₀ (mm)	Wanddicke T ₀ (mm)	T ₀ /D ₀ (%)	Innenumfangs- Wanddicke T ₂ (mm)	Außenumfangs- Wanddicke T ₁ (mm)	Krümmungs- radius- verhältnis R/D ₀	Abflachungs- grad U (%)	Gerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt
5	ASTM A106B	168,3	11,0	6,5	16,2	10,3	2,0	2,5	X	-
6	ASTM A106B	168,3	7,2	4,3	10,6	6,6	2,00	3,0	X	-
7	ASTM A106B	168,3	10,9	6,5	18,8	9,3	1,5	5,0	-	X
8	ASTM A106B	168,3	11,2	6,6	18,4	10,1	1,5	3,5	-	X

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Nr.	Stahlsorte	Abmessung und Konfiguration								Position, an der die Verformung am frühesten einsetzt (Markierung X)	
		Gerader Abschnitt			Gebogener Abschnitt						
		Außen- durchmesser D ₀ (mm)	Wanddicke T ₀ (mm)	T ₀ /D ₀ (%)	Innenumfangs- Wanddicke T ₂ (mm)	Außenumfangs- Wanddicke T ₁ (mm)	Krüm- mungs- radius- verhältnis R/D ₀	Abflachungs- grad U ~ (%)	Gerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt	
9	ASTM A106B	168,3	7,1	4,2	9,0	6,7	3,0	3,3	-	X	
10	ASTM A106B	168,3	11,2	6,5	13,4	10,5	3,0	2,9	X	-	
11	ASTM A106B	168,3	7,1	4,2	10,6	6,6	2,0	1,4	X	-	
12	ASTM A106B	168,3	11,0	6,5	18,5	9,1	1,5	1,8	-	X	

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Nr.	Stahlsorte	Abmessung und Konfiguration								Position, an der die Verformung am frühesten einsetzt (Markierung X)	
		Gerader Abschnitt			Gebogener Abschnitt						
		Außen- durchmesser D ₀ (mm)	Wanddicke T ₀ (mm)	T ₀ /D ₀ (%)	Innenumfangs- Wanddicke T ₂ (mm)	Außenumfangs- Wanddicke T ₁ (mm)	Krümmungs- radius- verhältnis R/D ₀	Abflachungs- grad U (%)	Gerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt	
13	ASTM A106B	168,3	10,9	6,5	15,4	9,4	2,0	3,0	-	X	
14	ASTM A106B	168,3	7,0	4,2	8,7	6,3	3,0	2,5	-	X	

1 Als Ergebnis wurde beobachtet, daß die Verformung am ge-
 bogenen Teil einsetzt, wenn der Abflachungsgrad U mehr als
 3 % beträgt; dies gilt auch bei einem Abflachungsgrad U von
 3 % oder darunter und einer relativ kleinen Wanddicke T_1 am
 5 Außenumfangsbereich ($+90^\circ$) des gebogenen Abschnitts. Eine Zu-
 sammenfassung dieser Beziehungen in Relation zu R/D_0 ist in
 Fig. 7 dargestellt. In der Darstellung bezeichnet die Markie-
 rung \bullet ein erstes Auftreten der Verformung am geraden Ab-
 schnitt, und die Markierung \times bezeichnet ein erstes Auftreten
 10 der Verformung am gebogenen Abschnitt. Die Zahlen in der
 Zeichnung bezeichnen den Abflachungsgrad (in %) am Außen-
 durchmesser des gebogenen Abschnitts.

Wie vorstehend erwähnt wurde, muß zur Gewährleistung der
 Sicherheit des gebogenen Abschnitts nach Ausüben eines Innen-
 15 drucks auf ein induktionsgebogenes Rohr mit einem gebogenen
 Abschnitt mit ungleichmäßiger Wanddicke die Beziehung von
 Gleichung (1) erfüllt sein. Insbesondere bei einem Krümmungs-
 radiusverhältnis R/D_0 des gebogenen Abschnitts im Bereich von
 1 bis 5 und einem Verhältnis T_0/D_0 im Bereich von 0,02 bis
 20 0,20 wird der Grenzwert für die Wanddicke T_1 am Außenumfangs-
 bereich ($+90^\circ$) des gebogenen Abschnitts annähernd durch Gle-
 chung (15) ausgedrückt:

$$\{(T_0 - T_1) / T_0\} * (R / D_0) = 0,20 \quad \dots (15)$$

25 Ferner wurden von den Erfindern experimentell induk-
 tionsgebogene Rohr mit unterschiedlicher Wanddickendifferenz
 und unterschiedlichem Abflachungsgrad gemäß Tabelle 3 und 4
 durch kontinuierliches Erwärmen eines Stahlrohrs mittels
 hochfrequenter Induktionserwärmung hergestellt, während ein
 Biegemoment an ihrem erwärmten Bereich ausgeübt und unmit-
 30 telbar danach eine Zwangskühlung mit Wasser oder Luft durch-
 geführt wurde. Die induktionsgebogenen Rohre wurden einer
 Verformungsprüfung unterzogen, bei der sie mit Innendruck be-
 aufschlagt wurden, wodurch die Auswirkungen von Wanddicken-
 35 differenz und Abflachungsgrad bestimmt wurden.

Tabelle 3

Nr.	Stahlsorte	Abmessung und Konfiguration							Position, an der die Verformung am frühesten einsetzt (Markierung X)	
		Gerader Abschnitt			Gebogener Abschnitt					
		Außen- durchmesser D ₀ (mm)	Wanddicke T ₀ (mm)	T ₀ /D ₀ (%)	Innenumfangs- Wanddicke T ₂ (mm)	Außenumfangs- Wanddicke T ₁ (mm)	Krümmungs- radius- verhältnis R/D ₀	Abflachungs- grad U (%)	Gerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt
1	ASTM A106B	165,1	5,5	3,3	7,4	5,1	2,0	2,0	X	-
2	ASTM A106B	165,1	5,4	3,3	7,2	4,9	2,0	3,3	X	-
3	ASTM A106B	165,1	5,4	3,3	7,5	5,0	2,0	5,0	X	-
4	ASTM A106B	165,1	5,6	3,4	7,6	5,2	2,0	5,9	-	X

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Nr.	Stahlsorte	Abmessung und Konfiguration								Position, an der die Verformung am frühesten einsetzt (Markierung X)	
		Gerader Abschnitt			Gebogener Abschnitt						
		Außen- durchmesser D ₀ (mm)	Wanddicke T ₀ (mm)	T ₀ /D ₀ (%)	Innenumfangs- Wanddicke T ₂ (mm)	Außenumfangs- Wanddicke T ₁ (mm)	Krümmungs- radius- verhältnis R/D ₀	Abflachungs- grad U (%)	Gerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt	
5	ASTM A106B	165,1	5,5	3,4	7,5	4,8	2,0	2,5	-	X	
6	ASTM A106B	165,1	5,5	3,3	7,4	5,0	2,0	5,3	-	X	

Tabelle 4

Nr.	Stahlsorte	Abmessung und Konfiguration							Position, an der die Verformung am frühesten einsetzt (Markierung X)	
		Gerader Abschnitt			Gebogener Abschnitt					
		Außen- durchmesser D ₀ (mm)	Wanddicke T ₀ (mm)	T ₀ /D ₀ (%)	Innenumfangs- Wanddicke T ₂ (mm)	Außenumfangs- Wanddicke T ₁ (mm)	Krümmungs- radius- verhältnis R/D ₀	Abflachungs- grad U (%)	Gerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt
1	ASTM A106B	139,7	15,9	11,4	21,1	14,6	2,0	0,5	X	-
2	ASTM A106B	139,7	15,7	11,2	22,0	14,8	2,0	0,8	X	-
3	ASTM A106B	139,7	16,0	11,5	21,8	14,4	2,0	1,5	X	-
4	ASTM A106B	139,7	15,9	11,4	21,5	14,6	2,0	2,3	-	X

Tabelle 4 (Fortsetzung)

Nr.	Stahlsorte	Abmessung und Konfiguration							Position, an der die Verformung am frühesten einsetzt (Markierung X)	
		Gerader Abschnitt			Gebogener Abschnitt					
		Außen- durchmesser D ₀ (mm)	Wanddicke T ₀ (mm)	T ₀ /D ₀ (%)	Innenumfangs- Wanddicke T ₂ (mm)	Außenumfangs- Wanddicke T ₁ (mm)	Krümmungs- radius- verhältnis R/D ₀	Abflachungs- grad U (%)	Gerader Abschnitt	Gebogener Abschnitt
5	ASTM A106B	139,7	15,8	11,3	21,3	14,0	2,0	0,9	-	X
6	ASTM A106B	139,7	16,1	11,5	20,9	13,8	2,0	2,5	-	X

1 Aus den vorstehenden Tabellen gehen die charakteristi-
 schen Merkmale dieser induktionsgebogenen Rohre hervor. Das
 Verhältnis T_0/D_0 zwischen Wanddicke des geraden Abschnitts
 und Außendurchmesser liegt im Bereich von 2 bis unter 4 % in
 5 Tabelle 3 und im Bereich von über 10 bis 20 % in Tabelle 4.
 Das Verhältnis R/D_0 zwischen Krümmungsradius und Außendurch-
 messer liegt im Bereich von 1 bis 5, der Abflachungsgrad
 liegt im Bereich von 0 bis 10 %, und wo die Wanddicke am Au-
 ßenumfang des gebogenen Abschnitts ($+90^\circ$) T_1 beträgt, liegt
 10 $(T_0 - T_1)/T_0$ im Bereich von 0 bis 0,2.

Die Rohrleitung mit einem erfindungsgemäßen krümmerlosen
 Rohr hat im Vergleich zur herkömmlichen Rohrleitung mit einem
 Krümmer ausgezeichnete Festigkeitseigenschaften, wenn sie ei-
 nem Innendruck und einem Biegemoment ausgesetzt wird. Da
 15 die Querschnittsabflachung klein ist, kann das krümmerlose
 Rohr ferner z. B. in Rohrleitungen für eine Chemieanlage, ei-
 nen Kessel und eine Kernenergieanlage eingesetzt werden, in
 denen ein Innendruck und ein Biegemoment während des Be-
 triebes solcher Ausrüstungen einzeln oder in Kombination aus-
 20 geübt werden. Das krümmerlose Rohr verbessert die Sicherheit
 solcher Ausrüstungen und leistet dadurch einen großen Beitrag
 für die gewerbliche Wirtschaft.

Beispiel 1

Es wurden krümmerlose Rohre mit unterschiedlichen, durch
 25 Gleichung (1) und (2) definierten Abmessungen gemäß Tabelle 5
 und 6 hergestellt; diese wurden einer Bruchprüfung, bei der
 ein Innendruck ausgeübt wurde, und einer Beanspruchungsprü-
 fung, bei der ein Biegemoment ausgeübt wurde, unterzogen.
 Als Arbeitsbeispiele zeigt Tabelle 5 die Bruchbedingungen bei
 30 Ausüben eines Innendrucks. Als Arbeitsbeispiele zeigt Tabelle
 6 die Beanspruchungsbedingungen im Vergleich zu denen des
 Krümmers bei Ausübung eines Biegemoments von 1 Tonne · m.

1) Bruchprüfung durch Innendruck:

Die Bruchprüfung der Rohrleitung wurde durch Druckbeauf-
 35 schlagung der Rohrinnenfläche mit dem vorstehend genannten
 Wasserdruck durchgeführt (Fig. 3(b)). Die Ergebnisse sind in
 Tabelle 5 dargestellt.

- 1 Bei allen krümmerlosen Rohren trat der Bruch an ihrem
geraden Abschnitt auf. Dies bestätigte die Sicherheit des ge-
bogenen Abschnitts, und es wurde deutlich, daß das krümmer-
lose Rohr eine Querschnittsform mit ausgezeichneten Innen-
5 druckfestigkeitseigenschaften im Vergleich zum herkömmlichen
Krümmer hat.

10

15

20

25

30

35

Tabelle 5

Art des Erzeugnisses	Nr.	Größe (mm)					Die Markierung X bezeichnet die Bruchposition infolge des Innendrucks, und die Markierung 0 bezeichnet die Position, an der kein Bruch auftrat.			
		Außen- durchmesser D, D ₀	Wanddicke		T ₀	Krümmungs- radius R	Gebogener Abschnitt			Gerader Abschnitt
			t $\phi = -90^\circ$	t $\phi = +90^\circ$						
Beispiele für die Erfindung: krümmungslose Rohre	1	168,3	12,1	6,6	7,1	1,5D	0	0	0	X
	2	168,3	10,6	6,6	7,1	2,0D	0	0	0	X
	3	168,3	9,0	6,8	7,1	3,0D	0	0	0	X
	4	168,3	18,5	10,3	11,0	1,5D	0	0	0	X

Tabelle 5 (Fortsetzung)

Art des Erzeugnisses	Nr.	Größe (mm)					Die Markierung X bezeichnet die Bruchposition infolge des Innendrucks, und die Markierung 0 bezeichnet die Position, an der kein Bruch auftrat.			
		Außen- durchmesser D, D ₀	Wanddicke		T ₀	Krümmungs- radius R	Gebogener Abschnitt			Gerader Abschnitt
			t	t						
			$\phi = -90^\circ$	$\phi = +90^\circ$			I	N	O	
Beispiele für die Erfindung: krümmlose Rohre	5	168,3	16,2	10,4	11,0	2,0D	0	0	0	X
	6	168,3	12,8	10,4	11,0	3,0D	0	0	0	X
Herkömmliches Beispiel: Krümmer	7	168,3	10,5	10,5	10,5	1,4D	X	0	0	0

1 2) Beanspruchungsprüfung durch Biegemoment:

Es wurde eine Prüfung auf die im wesentlichen gleiche, vorstehend genannte Weise durchgeführt (Fig. 5(a)). Die an der Neutralposition N auftretende Beanspruchung ist als repräsentatives Beispiel für die Positionen, an denen eine Spitzenbeanspruchung an der Querschnittsfläche beobachtet wird, in Tabelle 6 dargestellt.

10

15

20

25

30

35

Tabelle 6

Art des Erzeugnisses	Nr.	Größe (mm)					Vergleich der Beanspruchung am Neutralbereich N in Rohrumfangsrichtung, nachdem ein Biegemoment von 1 Tonne · m auf den gebogenen Abschnitt ausgeübt wurde (1 für Krümmer)
		Außen-durch-messer D, D ₀	Wanddicke			Krüm-mungs-radius R	
			t φ = -90°	t φ = +90°	T ₀		
Beispiele für die Erfindung: Krümmerlose Rohre	4	168,3	18,5	10,3	11,0	1,5D	0,55
	5	168,3	16,2	10,4	11,0	2,0D	0,54
	6	168,3	12,8	10,4	11,0	3,0D	0,46
Herkömmliches Beispiel: Krümmer	7	168,3	10,5	10,5	10,5	1,4D	1,00

1 Bei allen krümmerlosen Rohren wurde im Vergleich zu den
 Rohren mit Krümmer eine beträchtliche Beanspruchungsverringere-
 5 kung beobachtet. Dadurch wurde die Wirksamkeit des Vorhanden-
 seins einer großen Wanddicke am Innenumfangsbereich I des
 krümmerlosen Rohrs nachgewiesen.

Anhand der Prüfergebnisse in 1) und 2) oben wurde bestä-
 tigt, daß alle erfindungsgemäßen krümmerlosen Rohre im Ver-
 gleich zum herkömmlichen Rohr mit Krümmer ausgezeichnete Fe-
 stigkeitseigenschaften haben und daß der gebogene Abschnitt
 10 dem geraden Abschnitt in seiner mechanischen Innendruckfe-
 stigkeit überlegen ist.

Beispiel 2

1) Die Prüfergebnisse für den Fall $0,04 \leq T_0/D_0 \leq 0,10$
 sind in Fig. 7(a) gezeigt. Bei einem Abflachungsgrad U über
 15 3 %, und auch bei einem Abflachungsgrad von 3 % oder darun-
 ter, und bei einer relativ kleinen Wanddicke T_1 am Außenum-
 fangsbereich (+90°) des gebogenen Abschnitts wurde festge-
 stellt, daß die Verformung am gebogenen Abschnitt einsetzt.
 Die Grenzwertkurve für die Wanddicke T_1 am Außenumfangsbe-
 20 reich (+90°) im gebogenen Abschnitt einer Rohrleitung, deren
 gerader Abschnitt sich unter der Bedingung eines Abflachungs-
 grads von 3 % oder darunter verformt, entsprach im wesentli-
 chen Gleichung (14). D. h., es wurde nachgewiesen, daß bei
 allen induktionsgebogenen Rohren, die dadurch gekennzeichnet
 25 sind, daß die Wanddicke T_1 am Außenumfangsbereich (+90°) des
 gebogenen Abschnitts und der Abflachungsgrad U des Außen-
 durchmessers am gebogenen Abschnitt in den durch Gleichung
 (3) bzw. (4) definierten Bereichen liegen, nach Ausüben eines
 Innendrucks auf das induktionsgebogene Rohr der verformungs-
 30 auslösende Innendruck des gebogenen Abschnitts größer als der
 des geraden Abschnitts ist, wodurch die Sicherheit der gebo-
 genen Rohre gewährleistet ist. Ferner wurde nachgewiesen, daß
 die induktionsgebogenen Rohre der Erfindung mit einer gering-
 ffügig abgeflachten Querschnittsform an ihrem gebogenen Ab-
 35 schnitt im Vergleich zum geraden Abschnitt eine ausgezeichnete
 mechanische Innendruckfestigkeit aufweisen.

2) Die Prüfergebnisse für den Fall $0,02 \leq T_0/D_0 < 0,04$ sind in Fig. 7(b) dargestellt. Bei einem Abflachungsgrad U über 5 %, und auch bei einem Abflachungsgrad von 5 % oder darunter, und bei einer relativ kleinen Wanddicke T_1 am Außenumfangsbereich ($+90^\circ$) des gebogenen Abschnitts wurde festgestellt, daß die Verformung am gebogenen Abschnitt einsetzt. Die Grenzwertlinie für die Wanddicke T_1 am Außenumfangsbereich ($+90^\circ$) im gebogenen Abschnitt einer Rohrleitung, deren gerader Abschnitt sich unter der Bedingung eines Abflachungsgrads von 5 % oder darunter verformt, entsprach ferner wie im vorhergehenden Fall im wesentlichen Gleichung (14) (Fig. 7(b)).

D. h., es wurde nachgewiesen, daß bei allen induktionsgebogenen Rohren, die dadurch gekennzeichnet sind, daß die Wanddicke T_1 am Außenumfangsbereich ($+90^\circ$) des gebogenen Abschnitts und der Abflachungsgrad U des Außendurchmessers am gebogenen Abschnitt in den durch Gleichung (3) bzw. (8) definierten Bereichen liegen, nach Ausüben eines Innendrucks auf das induktionsgebogene Rohr der verformungsauslösende Innendruck des gebogenen Abschnitts größer als der des geraden Abschnitts ist, wodurch die Sicherheit der gebogenen Rohre gewährleistet ist. Ferner wurde nachgewiesen, daß die induktionsgebogenen Rohre der Erfindung mit einer geringfügig abgeflachten Querschnittsform an ihrem gebogenen Abschnitt im Vergleich zum geraden Abschnitt eine ausgezeichnete mechanische Innendruckfestigkeit aufweisen.

3) Die Prüfergebnisse für den Fall $0,10 < T_0/D_0 \leq 0,20$ sind in Fig. 7(c) dargestellt. Bei einem Abflachungsgrad U größer als 1,5 %, und auch bei einem Abflachungsgrad von 1,5 % oder darunter, und bei einer relativ kleinen Wanddicke T_1 am Außenumfangsbereich ($+90^\circ$) des gebogenen Abschnitts wurde festgestellt, daß die Verformung am gebogenen Abschnitt einsetzt. Die Grenzwertlinie für die Wanddicke T_1 am Außenumfangsbereich ($+90^\circ$) im gebogenen Abschnitt einer Rohrleitung, deren gerader Abschnitt sich unter der Bedingung eines Abflachungsgrads von 1,5 % oder darunter verformt, entsprach

1 ferner wie im vorhergehenden Fall im wesentlichen Gleichung
(14) (Fig. 7(c)).

5 D. h., es wurde nachgewiesen, daß bei allen induktions-
gebogenen Rohren, die dadurch gekennzeichnet sind, daß die
Wanddicke T_1 am Außenumfangsbereich ($+90^\circ$) des gebogenen Ab-
schnitts und der Abflachungsgrad U des Außendurchmessers am
10 gebogenen Abschnitt in den durch Gleichung (3) bzw. (10) de-
finierten Bereichen liegen, nach Ausüben eines Innendrucks
auf das induktionsgebogene Rohr der verformungsauslösende In-
nendruck des gebogenen Abschnitts größer als der des geraden
Abschnitts ist, wodurch die Sicherheit der gebogenen Rohre
gewährleistet ist. Ferner wurde nachgewiesen, daß die induk-
tionsgebogenen Rohre der Erfindung mit einer geringfügig ab-
geflachten Querschnittsform an ihrem gebogenen Abschnitt im
15 Vergleich zum geraden Abschnitt eine ausgezeichnete mechani-
sche Innendruckfestigkeit aufweisen.

Die Wanddicken an anderen Bereichen des gebogenen Ab-
schnitts richten sich aufgrund des Herstellungsverfahrens des
induktionsgebogenen Rohrs nahezu eindeutig nach dem Krüm-
mungsradius R und der Wanddicke T_1 am Außenumfangsbereich
20 ($+90^\circ$) des gebogenen Abschnitts. So liegt z. B. im allgemei-
nen $(T_2 - T_0)/T_0$ im Bereich von 0,07 bis 0,80, wobei T_2 die
Wanddicke am Innenumfangsbereich (-90°) des gebogenen Ab-
schnitts darstellt. Zusätzlich ergibt sich der Abflachungs-
grad U am Außendurchmesser des gebogenen Abschnitts zwangs-
25 läufig aus dem Herstellungsverfahren des induktionsgebogenen
Rohrs. Trotz verschiedener erprobter Gegenmaßnahmen ist es
schwierig, dieses Problem vollständig zu beseitigen. Sofern
keine besondere Maßnahme zum Korrigieren des Außendurchmes-
sers nach dem Biegen unter Hochfrequenzinduktion ergriffen
30 wird, beträgt der Abflachungsgrad im allgemeinen bis etwa
8 %.

EP 88 90 0788.6-2311
Nippon Steel Corporation, et al.
u.Z.: X 487 EP

P a t e n t a n s p r u c h

1. Induktionsgebogenes Stahlrohr für die Aufnahme eines Innendrucks und mit hoher Festigkeit gegen den Innendruck, wobei das gebogene Rohr einen geraden Abschnitt mit einem Außendurchmesser D_0 und einer Wanddicke T_0 und einen gebogenen Abschnitt aufweist, der sich von mindestens einem Ende des geraden Abschnitts aus erstreckt und einen maximalen Außendurchmesser D_1 , einen minimalen Außendurchmesser D_2 , einen Krümmungsradius R und eine Wanddicke T_1 am radial äußersten Abschnitt des Querschnittsumfangs aufweist, wobei das gebogene Rohr die nachstehenden Formeln erfüllt: ein Verhältnis T_0/D_0 der Wanddicke des geraden Abschnitts zu dessen Außendurchmesser in dem Bereich gemäß den nachstehenden Formeln (5a bis 5c), den Krümmungsradius R im Bereich gemäß der nachstehenden Formel (3), einen Abflachungsgrad U des Außendurchmessers des gebogenen Abschnitts gemäß der nachstehenden Formel (4) und im Bereich gemäß der nachstehenden Formel (2), sowie die Wanddicke T_1 am radial äußersten Abschnitt des Umfangs der Krümmung im Bereich gemäß der nachstehenden Formel (1):

$$0 \leq \{(T_0 - T_1) / T_0\} * (R / D_0) \leq 0,20 \quad (1)$$

$$0 \leq U \leq U_{\max} \quad (2)$$

$$1 \leq R / D_0 \leq 5 \quad (3)$$

$$U = 2 * (D_1 - D_2) / (D_1 + D_2) \quad (4)$$

wobei

$$U_{\max} = 0,015 \quad \text{für} \quad 0,10 < T_0 / D_0 \leq 0,20 \quad (5a)$$

$$U_{\max} = 0,03 \quad \text{für} \quad 0,04 \leq T_0 / D_0 \leq 0,10 \quad (5b)$$

$$U_{\max} = 0,05 \quad \text{für} \quad 0,02 \leq T_0 / D_0 < 0,04 \quad (5c)$$

Fig. 1

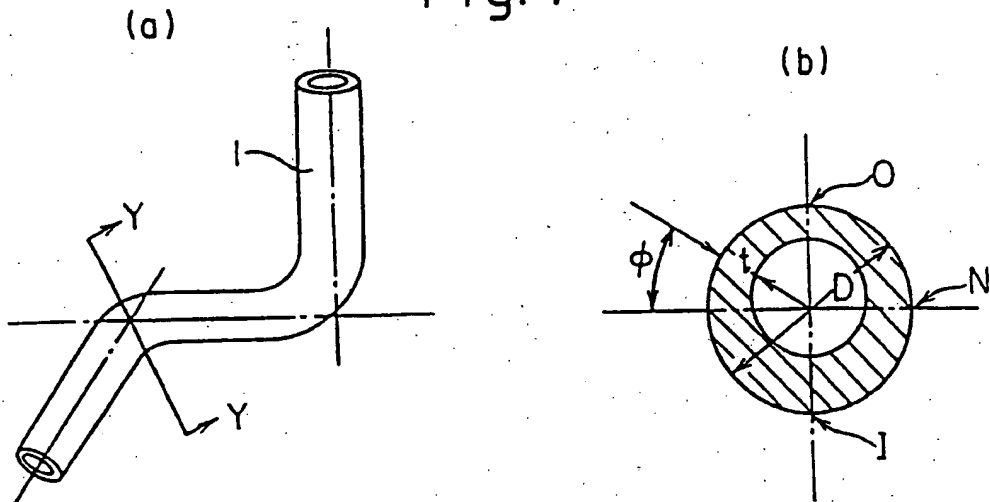


Fig. 2

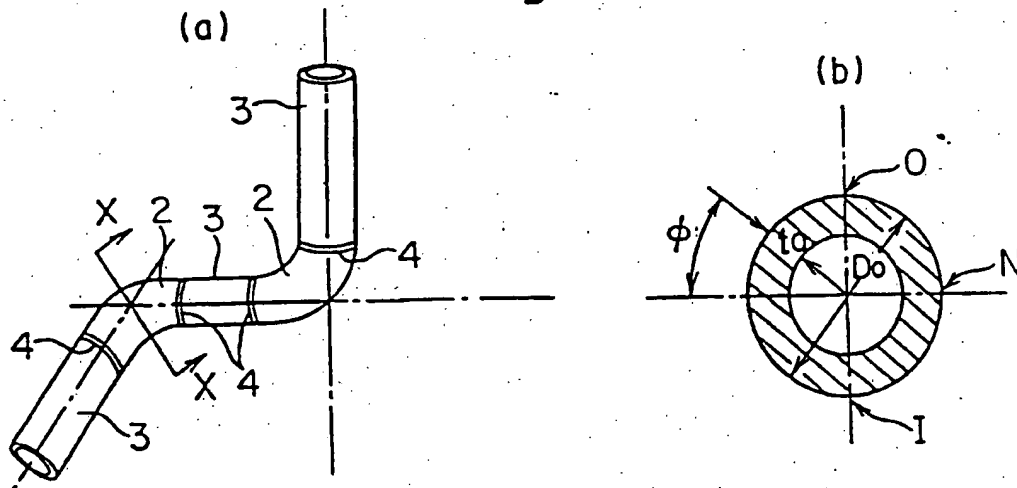


Fig. 3

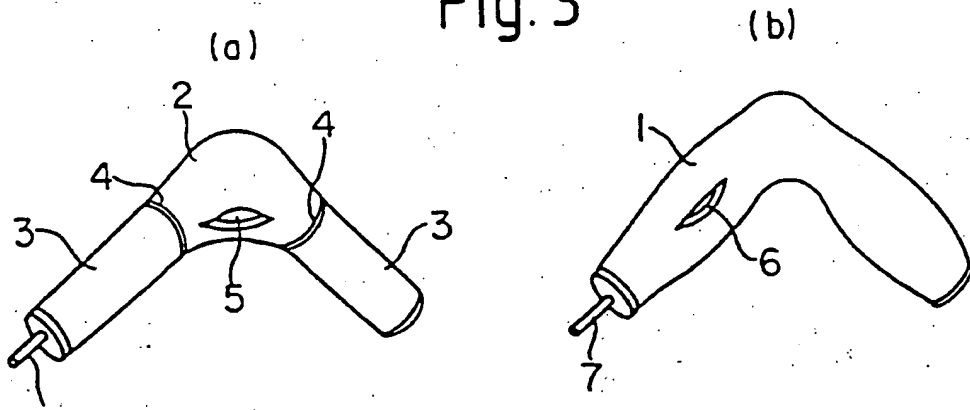


Fig. 4

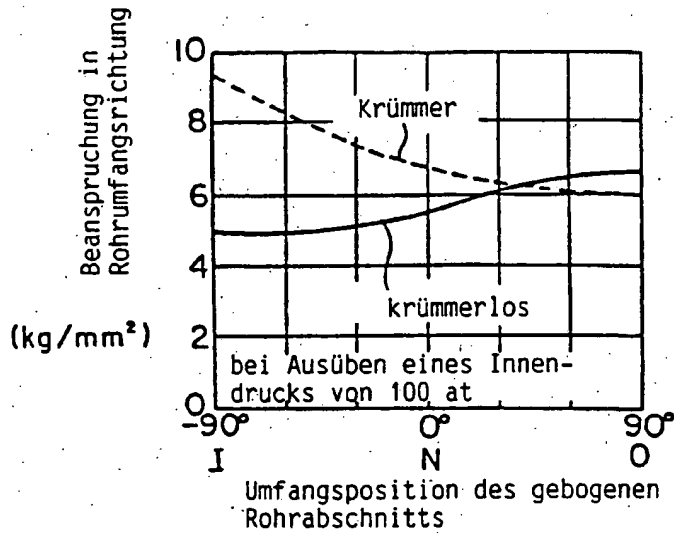


Fig. 5

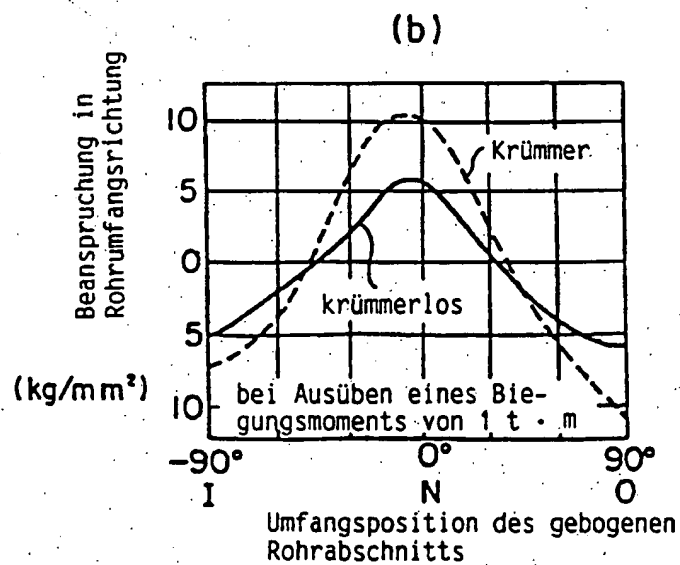
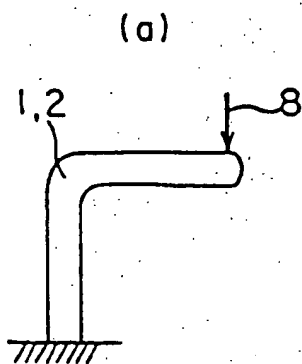
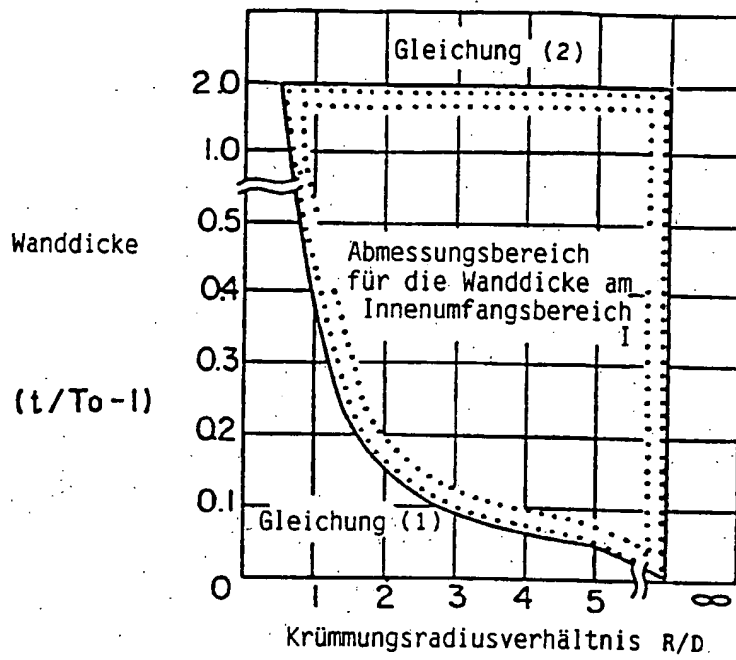


Fig. 6

(a)



(b)

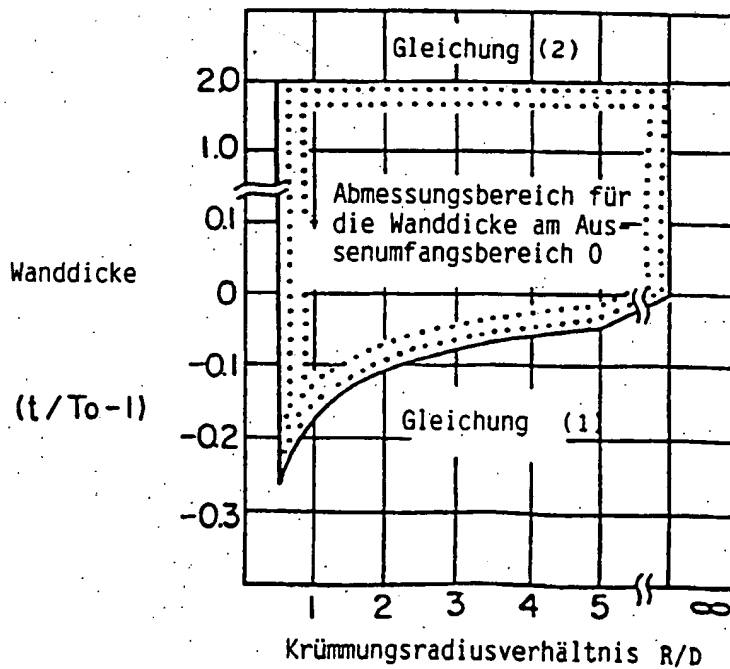
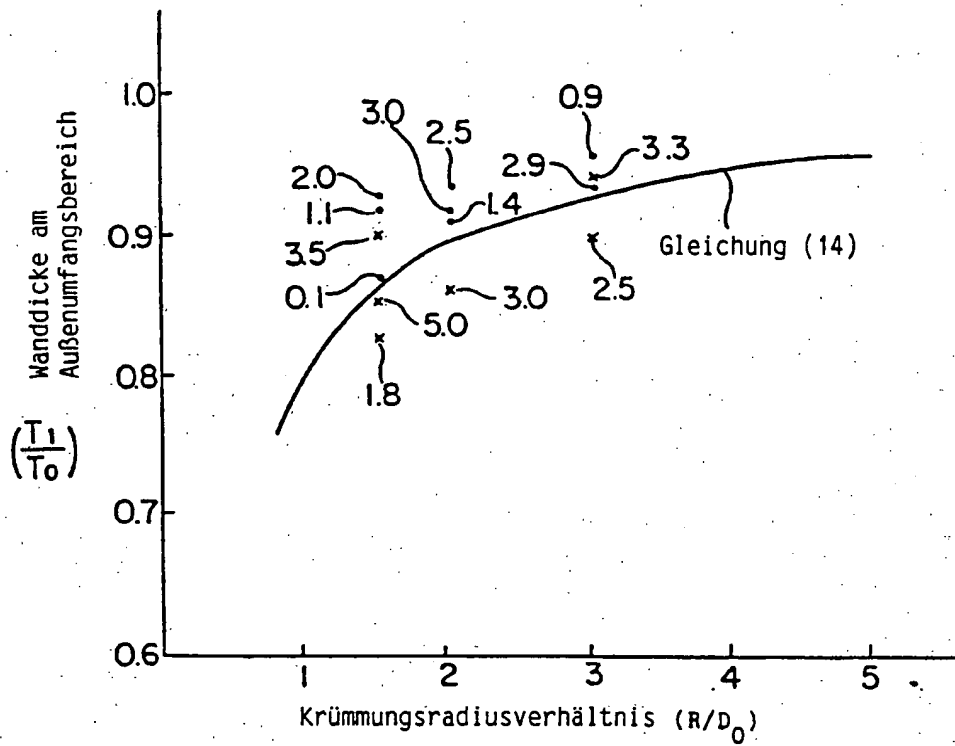


Fig. 7

(a)



(b)

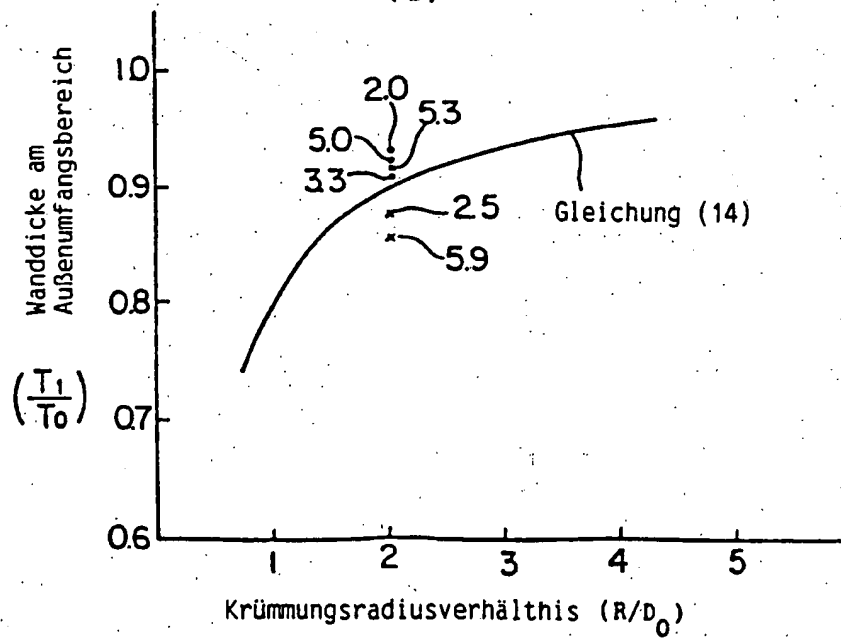


Fig. 7

(c)

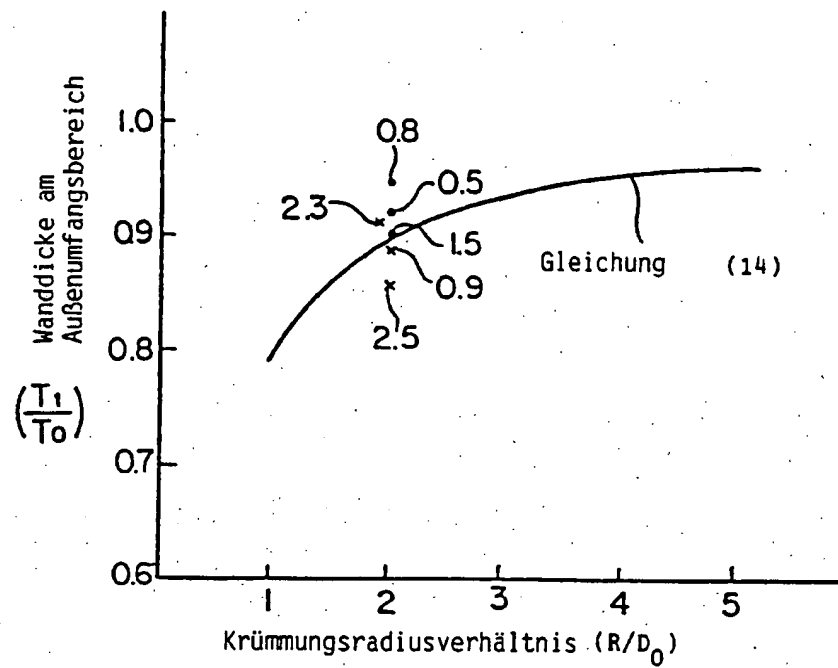


Fig. 8

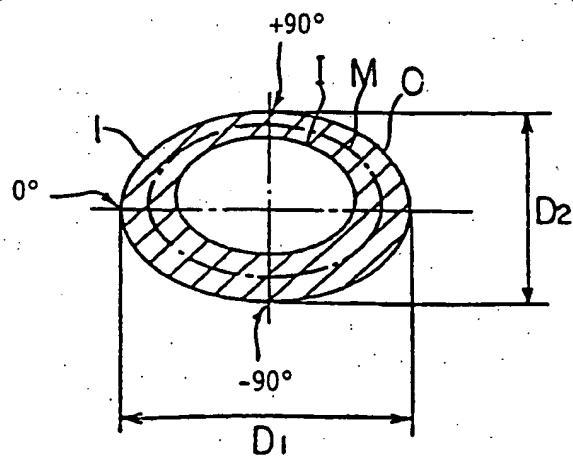


Fig. 9 (a)

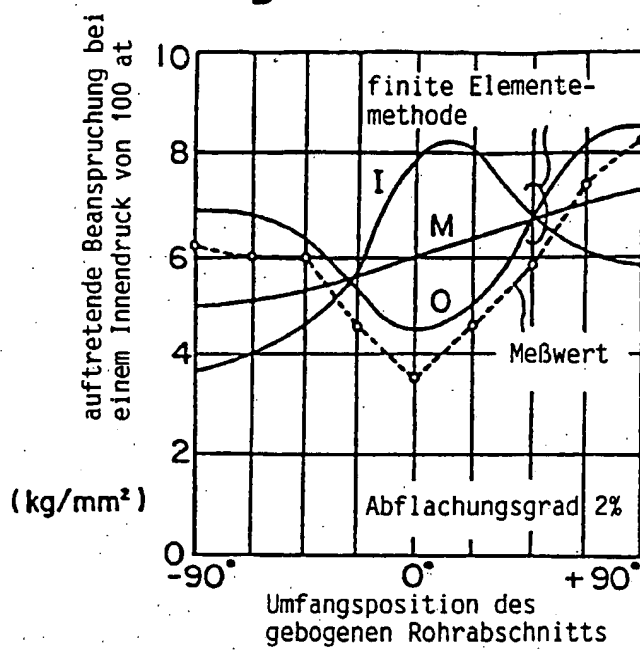
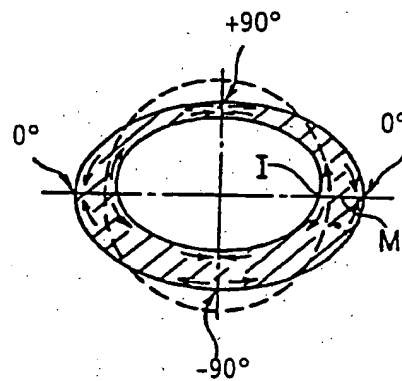
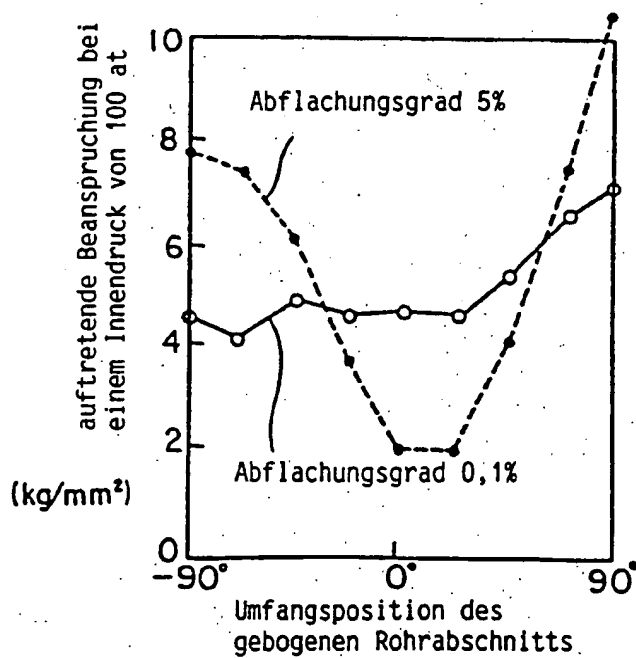


Fig. 10



(b)



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.